



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Power transformers –
Part 16: Transformers for wind turbine applications**

**Transformateurs de puissance –
Partie 16: Transformateurs pour applications éoliennes**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 29.180

ISBN 978-2-88912-670-5

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Service conditions	8
4.1 Normal service conditions	8
4.2 Altitude.....	8
4.3 Temperature of cooling air.....	8
4.4 Content of harmonic currents in the transformer	9
4.5 Wave-shape of supply voltage	9
4.6 Transient over and under voltages	9
4.7 Humidity and salinity	10
4.8 Special electrical and environmental conditions around the transformer	10
4.9 Level of vibration.....	11
4.10 Provision for unusual service conditions for transformers for wind turbine applications.....	11
4.11 Transportation and storage conditions	11
4.12 Corrosion protection.....	11
5 Electrical characteristics.....	11
5.1 Rated power.....	11
5.2 Highest voltage for equipment	11
5.3 Tappings	12
5.4 Connection group	12
5.5 Dimensioning of neutral terminal	12
5.6 Short circuit impedance	12
5.7 Insulation levels for high voltage and low voltage windings.....	12
5.8 Temperature rise guaranteed at rated conditions.....	12
5.9 Overload capability.....	13
5.10 Inrush current.....	13
5.11 Ability to withstand short circuit	13
5.12 Operation with forced cooling	13
6 Rating plate.....	13
7 Tests	13
7.1 List and classification of tests (routine, type and special tests).....	13
7.2 Routine tests	13
7.3 Type tests	14
7.4 Special tests	14
7.4.1 General	14
7.4.2 Chopped wave test.....	14
7.4.3 Electrical resonance frequency test	14
7.4.4 Climatic tests.....	14
7.4.5 Environmental test E3	14
7.4.6 Fire behavior test	15
Annex A (informative) Calculation method and tables	16
Bibliography.....	36

Figure A.1 – Heat dissipation in a natural ventilated room.....	17
Figure A.2 – Schematic diagram of power frequency current injection apparatus	30
Figure A.3 – Switched transformer winding voltage responses with capacitor injection.....	31
Figure A.4 – HV Injection test figure	32
Figure A.5 – Example of measurement device	33
Table 1 – Insulation levels	10
Table A.1 – Impact of harmonics content on liquid-immersed transformer losses	23
Table A.2 – Impact of harmonics content on dry type transformers losses.....	26
Table A.3 – Example of voltage harmonic order	29

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

POWER TRANSFORMERS –

Part 16: Transformers for wind turbine applications

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60076-16 has been prepared by IEC technical committee 14: Power transformers.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
14/690/FDIS	14/698/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 60076 series can be found, under the general title *Power transformers*, on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

This part of IEC 60076 is intended to specify the additional requirements for the transformers for installation in wind turbine applications.

Wind turbines use generator step-up transformers to connect the turbines to a network. These transformers can be installed in the nacelle or in the tower or outside close to the wind turbine.

This standard covers transformers for wind turbine applications or wind farms where the constraints on transformers exceed the requirement of the present IEC 60076 series. The constraints are not often known or recognized by the transformer manufacturers, wind turbine manufacturers and operators and as a result the level of reliability of these transformers can be lower than those used for conventional applications.

The transformers for wind turbine applications are not included in the present list of IEC 60076 standard series.

The purpose of this standard is help to obtain the same level of reliability as transformers for more common applications.

This standard deals particularly with the effects of repeated high frequency transient over-voltages, electrical, environmental, thermal, loading, installation and maintenance conditions that are specific for wind turbines or wind farms.

On site measurements, investigations and observations in wind turbines have detected risks for some different kind of installations:

- repeated high frequency transient over or under voltages in the range of kHz;
- over and under frequency due to turbine control;
- values of over voltage;
- over voltage or under voltage coming from LV side;
- high level of transient over voltages due to switching;
- presence of partial discharge around the transformer;
- harmonic contents current and voltage;
- overloading under ambient conditions;
- fast transient overload;
- clearances not in compliance with the minimum prescribed;
- installation conditions and connections;
- restricted conditions of cooling;
- water droplets;
- humidity levels that exceed the maximum permissible values;
- salt and dust pollution and extreme climatic conditions;
- high levels of vibration;
- mechanical stresses.

Therefore it is necessary to take into account in the design of the transformer the constraints of this application, or to define some protective devices to protect the transformer. Additional or improved routine, type or special tests for these transformers have to be specified to be in compliance with the constraints on the network.

POWER TRANSFORMERS –

Part 16: Transformers for wind turbine applications

1 Scope

This part of IEC 60076 applies to dry-type and liquid-immersed transformers for rated power 100 kVA up to 10 000 kVA for wind turbine applications having a winding with highest voltage for equipment up to and including 36 kV and at least one winding operating at a voltage greater than 1,1 kV.

Transformers covered by this standard comply with the relevant requirements prescribed in the IEC 60076 standards.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60076-1:2011, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-2:2011, *Power transformers – Part 2: Temperature rise for liquid-immersed transformers*

IEC 60076-3:2000, *Power transformers – Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air*

IEC 60076-5:2006, *Power transformers – Part 5: Ability to withstand short circuit*

IEC 60076-7:2005, *Power transformers – Part 7: Loading guide for oil-immersed power transformers*

IEC 60076-8:1997, *Power transformers – Application guide*

IEC 60076-11:2004, *Power transformers – Part 11: Dry-type transformers*

IEC 60076-12:2008, *Power transformers – Part 12: Loading guide for dry-type power transformers*

IEC 60076-13:2006, *Power transformers – Part 13: Self-protected liquid-filled transformers*

IEC 61100, *Classification of insulating liquids according to fire-point and net calorific value*

IEC 61378-1:2011, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications*

IEC 61378-3:2006, *Converter transformers – Part 3: Application guide*

IEC 61400-1:2005, *Wind turbines – Part 1: Design requirements*

ISO 12944 (all parts), *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	40
INTRODUCTION.....	42
1 Domaine d'application	43
2 Références normatives.....	43
3 Termes et définitions	44
4 Conditions de service	44
4.1 Conditions normales de service	44
4.2 Altitude.....	44
4.3 Température de l'air de refroidissement	44
4.4 Contenu des courants harmoniques dans le transformateur.....	45
4.5 Forme d'onde de la tension d'alimentation.....	45
4.6 Surtensions et sous-tensions transitoires	45
4.7 Humidité et salinité.....	46
4.8 Conditions électriques et environnementales particulières autour du transformateur.....	47
4.9 Niveau de vibration	47
4.10 Dispositions pour conditions de service exceptionnelles pour les transformateurs destinés à des applications éoliennes	47
4.11 Conditions de transport et de stockage.....	47
4.12 Protection contre la corrosion.....	47
5 Caractéristiques électriques	47
5.1 Puissance assignée.....	47
5.2 Tension la plus élevée pour le matériel	48
5.3 Prises.....	48
5.4 Groupe de connexions.....	48
5.5 Dimensionnement de la borne neutre	48
5.6 Impédance de court-circuit	48
5.7 Niveaux d'isolement pour les enroulements haute tension et basse tension	49
5.8 Echauffement garanti aux conditions assignées	49
5.9 Capacité de surcharge	49
5.10 Courant d'enclenchement.....	49
5.11 Tenue au court-circuit.....	49
5.12 Fonctionnement avec refroidissement forcé.....	49
6 Plaque signalétique	50
7 Essais	50
7.1 Liste et classification des essais (essais individuels de série, de type et spéciaux)	50
7.2 Essais individuels de série	50
7.3 Essais de type.....	50
7.4 Essais spéciaux	50
7.4.1 Généralités.....	50
7.4.2 Essai d'onde coupée	50
7.4.3 Essai de fréquence de résonance électrique.....	50
7.4.4 Essais climatiques	50
7.4.5 Essai environnemental E3	50
7.4.6 Essai de comportement au feu	51
Annexe A (informative) Méthode et tableaux de calcul	52

Bibliographie.....	72
Figure A.1 – Dissipation thermique dans une pièce à ventilation naturelle	53
Figure A.2 – Schéma de l'appareil d'injection de courant à fréquence industrielle	66
Figure A.3 – Réponses en tension de l'enroulement sous tension du transformateur avec injection par condensateur.....	67
Figure A.4 – Figure d'essai d'injection HT	68
Figure A.5 – Exemple de dispositif de mesure	69
Tableau 1 – Niveaux d'isolement	46
Tableau A.1 – Impact du contenu harmonique sur les pertes d'un transformateur immergé	59
Tableau A.2 – Impact du contenu harmonique sur les pertes d'un transformateur de type sec.....	62
Tableau A.3 – Exemple de rang d'harmonique de tension	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 16: Transformateurs pour applications éoliennes

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60076-16 a été établie par le comité d'études 14 de la CEI: Transformateurs de puissance.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
14/690/FDIS	14/698/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60076, présentées sous le titre général *Transformateurs de puissance*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 60076 a pour objet de spécifier les exigences supplémentaires pour les transformateurs destinés à être installés dans des applications éoliennes.

Les éoliennes utilisent des transformateurs élévateurs de générateur pour connecter les turbines à un réseau. Ces transformateurs peuvent être installés dans la nacelle ou dans le mât ou à l'extérieur, à proximité de l'éolienne.

La présente norme traite des transformateurs pour applications éoliennes ou pour parcs éoliens, où les contraintes imposées sur les transformateurs dépassent les exigences de la présente série CEI 60076. Les contraintes ne sont souvent pas connues ni reconnues par les fabricants de transformateurs, les fabricants et les exploitants d'éoliennes et, de ce fait, le niveau de fiabilité de ces transformateurs peut être inférieur à celui des transformateurs utilisés pour des applications conventionnelles.

Les transformateurs pour applications éoliennes ne figurent pas dans la liste actuelle de la série de normes CEI 60076.

L'objectif de la présente norme est de contribuer à obtenir le même niveau de fiabilité que pour les transformateurs utilisés pour des applications plus courantes.

La présente norme traite en particulier des effets des surtensions transitoires répétées à haute fréquence, et des conditions électriques, environnementales, thermiques, de charge, d'installation et de maintenance, qui sont spécifiques aux éoliennes ou aux parcs éoliens.

Les mesures sur site, les recherches et les observations dans les éoliennes ont permis de détecter des risques pour certains types différents d'installations:

- surtensions ou sous-tensions transitoires répétées à haute fréquence, dans la gamme des kHz;
- sur-fréquence et sous-fréquence dues aux commandes de la turbine;
- valeurs de surtensions;
- surtension ou sous-tension provenant de la basse tension;
- niveau élevé de surtensions transitoires dues aux manœuvres;
- présence de décharges partielles autour du transformateur;
- contenus harmonique de courant et de tension;
- surcharge dans des conditions ambiantes;
- surcharge transitoire rapide;
- distances d'isolement non conformes aux valeurs minimales prescrites;
- conditions d'installation et connexions;
- conditions limitées de refroidissement;
- gouttes d'eau;
- niveaux d'humidité dépassant les valeurs maximales permises;
- pollution saline et par la poussière, et conditions climatiques extrêmes;
- niveaux élevés de vibrations;
- contraintes mécaniques.

Il est par conséquent nécessaire de prendre en compte les contraintes de cette application lors de la conception des transformateurs, ou de définir certains dispositifs de protection pour protéger le transformateur. Des essais individuels de série, de type ou spéciaux supplémentaires ou améliorés pour ces transformateurs doivent être spécifiés pour être conformes aux contraintes imposées sur le réseau.

TRANSFORMATEURS DE PUISSANCE –

Partie 16: Transformateurs pour applications éoliennes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60076 s'applique aux transformateurs de type sec et immergés dans un liquide, pour une puissance assignée comprise entre 100 kVA et 10 000 kVA, destinés à des applications éoliennes, ayant un enroulement avec une tension la plus élevée pour le matériel inférieure ou égale à 36 kV et au moins un enroulement fonctionnant à une tension supérieure à 1,1 kV.

Les transformateurs couverts par la présente norme sont conformes aux exigences applicables spécifiées dans la série CEI 60076.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60076-1:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 1: Généralités*

CEI 60076-2:2011, *Transformateurs de puissance – Partie 2: Echauffement des transformateurs immergés dans le liquide*

CEI 60076-3:2000, *Transformateurs de puissance – Partie 3: Niveaux d'isolement, essais diélectriques et distances d'isolement dans l'air*

CEI 60076-5:2006, *Transformateurs de puissance – Partie 5: Tenue au court-circuit*

CEI 60076-7:2005, *Transformateurs de puissance – Partie 7: Guide de charge pour transformateurs immergés dans l'huile*

CEI 60076-8:1997, *Transformateurs de puissance – Guide d'application*

CEI 60076-11:2004, *Transformateurs de puissance – Partie 11: Transformateurs de type sec*

CEI 60076-12:2008, *Transformateurs de puissance – Partie 12: Guide de charge pour transformateurs de puissance de type sec*

CEI 60076-13:2006, *Transformateurs de puissance – Partie 13: Transformateurs auto-protégés immergés dans un liquide diélectrique*

CEI 61100, *Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur*

CEI 61378-1:2011, *Converter transformers – Part 1: Transformers for industrial applications* (disponible en anglais seulement)

CEI 61378-3:2006, *Transformateurs de conversion – Partie 3: Guide d'application*

CEI 61400-1:2005, *Eoliennes – Partie 1: Exigences de conception*

ISO 12944 (toutes les parties), *Peintures et vernis – Anticorrosion des structures en acier par systèmes de protection de peinture*